

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-244507
(P2001-244507A)

(43) 公開日 平成13年9月7日(2001.9.7)

(51) Int.Cl.⁷
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00

データベース(参考)

N

審査請求 未請求 請求項の数15 O L 外国語出願 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2000-335224(P2000-335224)

(22) 出願日 平成12年9月27日(2000.9.27)

(31) 優先権主張番号 09/405938

(32) 優先日 平成11年9月27日(1999.9.27)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500507009

ルミレックス ライティング ユーエス リ
ミテッドライアビリティ カンパニー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95131 サン ホセ ウェスト トリンプ
ル ロード 370

(72) 発明者 レギーナ ベー ミューラー マッハ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95132 サン ホセ スウェイガート ロ
ード 3491

(74) 代理人 100059959

弁理士 中村 稔 (外9名)

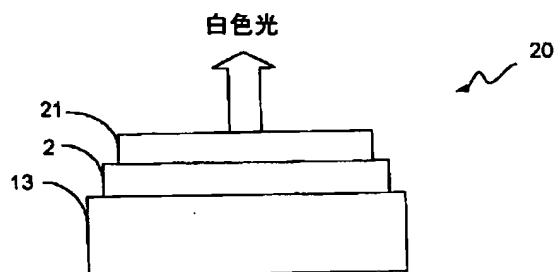
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜の蛍光変換発光ダイオードデバイス

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 LEDによって発せられた一次光を別の波長の光に変換して特定の色の光を生成する蛍光薄膜を有する蛍光変換LEDデバイスを提供する。

【解決手段】 蛍光薄膜はドーパントイオンを含んでおり、一次光の蛍光変換がドーパントの密度によって、また薄膜の厚さによって予測可能かつ制御可能となるよう空間的に分布している。したがって、蛍光変換LEDデバイスによって生成される光の色の変動は排除され、これにより生成される有色光の品質を均一にすることが可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 特定の色の光を発するための発光ダイオードデバイスであって、

第一の面及び第二の面を含む基板を有しており、第一の面は第二の面の反対側に設けられ、

基板の第一の面に配置された発光構造体を有しており、この発光構造体は基板の第一の面と隣り合った第一の面と、当該第一の面と反対の側の第二の面を有し、発光構造体は駆動されたときに一次放射光を発し、

発光構造体によって生成された一次放射光を受けるよう配置された燐光薄膜を有しており、当該一次放射光は燐光薄膜に当たり、一次放射光の第一の部分は燐光薄膜を通過し、一次放射光の第二の部分は異なる波長の光に変換され、燐光薄膜によって発せられた光は燐光薄膜を通過した一次放射光と混ざり合っ前記特定の色の光を生成することを特徴とする発光ダイオードデバイス。

【請求項 2】 前記燐光薄膜は、前記発光構造体の第二の面に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項 3】 前記一次放射光は青色光であることを特徴とする請求項 2 記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項 4】 前記基板は透明であり、前記燐光薄膜は基板の第二の面に配置され、前記発光構造体から発せられる一次放射光は燐光薄膜に当たる前に透明な基板を通過することを特徴する請求項 1 記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項 5】 前記発光構造体の第二の面に反射電極が配置され、発光構造体によって発せられ反射電極に当たる一次放射光は反射電極によって発光構造体に向かう方向へ反射されることを特徴とする請求項 4 記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項 6】 前記一次放射光は青色光であることを特徴とする発光ダイオードデバイス。

【請求項 7】 特定の色の光を発するための発光ダイオードデバイスであって、

第一の面及び第二の面を含む基板を有しており、第一の面は第二の面の反対側に設けられ、

基板の第一の面に配置された発光構造体を有しており、この発光構造体は基板の第一の面と隣り合った第一の面と当該第一の面と反対の側の第二の面を有し、発光構造体は駆動されたときに一次放射光を発し、

発光構造体によって生成された一次放射光を受けるよう配置された第一の燐光薄膜を有しており、当該一次放射光は第一の燐光薄膜に当たり、一次放射光の第一の部分は第一の燐光薄膜を通過し、一次放射光の第二の部分は、第一の波長の光に変換され、

発光構造によって生成された一次放射光の第三及び第四の部分を受けるよう配置された第二の燐光薄膜を有しており、一次放射光の第四の部分は第二の波長の光に変換され、一次放射光の第一及び第三の部分は変換されない

で、第一及び第二の燐光薄膜それぞれによって発せられる第一及び第二の波長の光と混ざり合っ、特定の色の光を生成することを特徴とする発光ダイオードデバイス。

【請求項 8】 前記第一の燐光薄膜は前記基板の第二の面に配置され、前記発光ダイオードデバイスはさらに前記発光構造体の第二の面に配置された反射電極を有しており、発光構造体によって発せられ反射電極に当たった一次放射光は発光構造体に向かう方向に反射されることを特徴とする請求項 7 記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項 9】 一次放射光は青色光であることを特徴とする請求項 8 記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項 10】 所定の色の光を発するための発光ダイオードデバイスであって、

第一の面及び第二の面を含む基板を有しており、第一の面は第二の面の反対側に設けられ、

基板の第一の面に配置された発光構造体を有しており、この発光構造体は基板の第一の面と隣り合った第一の面と当該第一の面と反対の側の第二の面を有し、発光構造体は駆動されたときに一次放射光を発し、

基板の第二の面に配置された誘電体ミラーを有しており、この誘電体ミラーは、少なくとも第一及び第二の面を含み、誘電体ミラーの第一の面は誘電体ミラーの第二の面の反対側にあり、誘電体ミラーの第一の面は基板の第二の面と接しており、誘電体ミラーは一次放射光に対して透過的であり、

誘電体ミラーの第二の面に配置された第一の燐光薄膜を有しており、一次放射光は第一の燐光薄膜に当たり、一次放射光の第一の部分は第一の燐光薄膜を通過し、一次放射光の第二の部分は第一の波長の光に変換され、誘電体ミラーは第一の波長の光を反射するものであり、第一の燐光薄膜に隣接する第二の燐光薄膜を有しており、一次放射光の第一の部分は第二の燐光薄膜を通過し、一次放射光の第二の部分は第二の波長の光に変換され、第一及び第二の燐光薄膜を通過する一次放射光の部分は、第一の燐光薄膜から発せられる光及び第二の燐光薄膜から発せられる光と混ざり合っ、前記特定の色の光を生成することを特徴とする発光ダイオードデバイス。

【請求項 11】 請求項 10 記載の発光ダイオードデバイスにおいて、さらに前記発光構造体の第二の面に配置された反射電極を有しており、発光構造体によって発せられ反射電極に当たった一次放射光は、発光構造体に向かう方向に反射されることを特徴とする発光ダイオードデバイス。

【請求項 12】 前記一次放射光は青色光であることを特徴とする請求項 11 記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項 13】 特定の色の光を発するための発光ダイオードデバイスであって、

少なくとも第一の面及び第二の面を含む基板を有してお

り、第一の面は第二の面の反対側に設けられ、基板の第一の面に配置された発光構造体を有しており、当該発光構造体は基板の第一の面に接する第一の面を有し、発光構造体はその第一の面と反対の側に第二の面を有し、

発光構造体に配置された第一の燐光薄膜を有しており、当該発光構造体は駆動されたときに一次放射光を発し、一次放射光は第一の燐光薄膜に当たり、第一の燐光薄膜に当たる全ての一次放射光は青色光に変換されて、この青色光は第一の燐光薄膜によって発せられ、第1の燐光薄膜に配置された第二の燐光薄膜を有しており、青色光の一部は第二の燐光薄膜を通過し、第二の燐光薄膜に当たる青色光の一部は黄色光に変換され、第二の燐光薄膜を通過する青色光の一部は第二の燐光薄膜からの黄色光と混ざり合っ、前記特定の色の光を生成することを特徴とする発光ダイオードデバイス。

【請求項14】 請求項13記載の発光ダイオードデバイスにおいて、前記第一の燐光薄膜は基板の第二の面に配置され、前記発光ダイオードデバイスはさらに発光構造体の第二の面に配置された反射電極を有しており、発光構造体から発せられ反射電極に当たった一次放射光は、発光構造体に向かう方向に反射されることを特徴する請求項13記載の発光ダイオードデバイス。

【請求項15】 前記一次放射光は紫外光であることを特徴する請求項14記載の発光ダイオードデバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【説明の属する技術分野】本発明は、発光ダイオード(LED)に関連する。より詳しくは、LEDより放射される一次光を白色光を生成するために一又は二以上の別の周波数の光に変換する一又は二以上の燐光薄膜を利用した燐光変換(phosphor-converted)LEDデバイスに関連する。

【0002】

【従来の技術】青色光あるいは紫外(UV)光を放射する効率的なLEDが開発されたことに伴って、LEDの一次放射光の一部をより長い波長へ燐光変換(phosphor conversion)することによって白色光を発生させるLEDの製造が実現可能となってきた。LEDの一次放射光をより長い波長に変換することは、一般に一次放射光の下方変換(down-conversion)と呼ばれる。一次放射光のうち変換されていない部分は、より長い波長の光と混ざり合っ白色光を生成する。白色光を発するLEDは、信号用としても照明用としても有用である。

【0003】現在、LEDの一次放射光の一部を燐光変換する最新のものは、LEDをLEDランプ内に収容するための手段となる反射器のカップに満たされるエポキシ樹脂の中に燐光体を含ませることによって実現されている。燐光体は、パウダー状態で、硬化前のエポキシ樹脂に混入される。この燐光体のパウダーを含ませた硬化

前のエポキシ樹脂のスラリーは、LED上に堆積され、その後硬化される。

【0004】硬化後のエポキシ樹脂に含まれる燐光体の樹脂は、通常ランダムな方向を向いてエポキシ樹脂全体に散在している。LEDから放射された一次光の一部は燐光体の粒子に当たることなくエポキシ樹脂を通過するが、LEDから放射された一次光の一部は燐光体の粒子に当たり、これにより燐光体の粒子は相補的な光を発する。一次青色光と燐光体が発する光は、混ざり合っ白色光を生成する。燐光体の粒子を含んだエポキシ樹脂を用いる場合の欠点の一つは、LEDから発せられる白色光の均一性を得ることが、不可能ではないとしても、困難であるという点である。この不均一性は、エポキシ樹脂のスラリーに混入された燐光体粒子のサイズのばらつきに起因する。現在のところ、燐光体粒子の寸法が均一な燐光体パウダーを入手することは一般に不可能である。エポキシ樹脂のスラリーに燐光体のパウダーを混ぜると、燐光体の大きな粒子は小さな粒子よりも早く沈み、エポキシ樹脂を硬化させると、この中には燐光体粒子の不均一な空間的分布が存在することになる。

【0005】したがって、エポキシ樹脂内の燐光体粒子の様な分布を得ることは、不可能ではないとしても非常に困難である。この困難さは燐光体の粒子の寸法が不均一であることに起因している。このように燐光体粒子の寸法のコントロール及びエポキシ樹脂内における位置のコントロールが不可能であることは、安定して白色光を発するLEDランプを製造することの困難さにつながっている。このため、LEDランプによって生成される白色光の品質は、特定のメーカーによって製造された同じ型のランプであっても、ランプごとに変動する。

【0006】エポキシ樹脂と混合した燐光体パウダーを用いる場合の欠点を、発光有機染料(luminescent organic dye)の薄膜をLEDを包むレンズの上に配置することによって克服しようとする試みがなされてきた。この染料は、これに当たるすべての一次光を完全に吸収してこれをより長い波長の光に変換するように、レンズ上の特別な位置に注意深く配置される。放射された一次光のうちの僅かな部分は、染料に当たらずにレンズを通過する。染料に当たらなかった一次光は波長の長い光と混ざり合っ、白色光を生成する。染料は、ここに当たった一次光を完全に吸収するので、波長の長い光と足合わされる一次光の割合の変動は排除されることになる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この後者の方法にも、いくつかの欠点がある。レンズ上に染料を配置するというのは製造上の不確定さを伴い、生成される白色光の変動につながる。また、長期間にわたって安定な染料も得られていない。このため、波長変換用の染料は広く用いられる状況には至っていない。

【0008】このようなことから、上述の問題や欠点を

克服できる燐光変換LEDが求められている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、LEDによって発せられた一次光を一又は二以上の別の波長の光に変換して特定の色の光を生成する一又は二以上の燐光薄膜を有する燐光変換LEDデバイスを提供する。本発明の燐光薄膜は、光学的に均一に空間分布するドーパントを有している。この薄膜内のドーパントの光学的に均一な空間分布によって、一次光の燐光変換は、予測可能かつ制御可能となる。したがって、燐光変換LEDデバイスによって生成される光の色の変動を除去することができ、これによりLEDデバイスによって生成される有色の光の品質を安定させることができる。このLEDデバイスによって生成される特定の色の光というのは、白色光であることが望ましい。しかしながら、本発明の燐光変換LEDデバイスは、他の色の光、たとえば緑色光を生成する燐光変換を行うように設計することもできる。

【0010】本発明の一つの実施例では、単一の燐光薄膜がLEDデバイスに設けられる。この薄膜は、青色の一次光の一部を黄色光に変換するとともに、一次光の一部についてはここを通過させる。一次光と黄色光は混ざり合っ、白色光を生成する。

【0011】本発明の他の実施例では、それぞれが異なる色の光を発する少なくとも二つの燐光薄膜がLEDデバイスに設けられている。この実施例では、これらの薄膜は、一方を他方の上に配置するのが望ましい。各薄膜は、一次光の一部を特定の色の光に変換する。たとえば、薄膜の一つは一次光を緑色光に変換し、薄膜の一つは一次光を赤色光に変換する。赤色光と緑色光、それに変換されなかった一次光は混ざり合っ、白色光を生成する。

【0012】本発明の実施例では、少なくとも二つの燐光薄膜が利用され、薄膜の一つは一次光を完全に吸収し、これを青色光に変換する。他の薄膜は第一の薄膜によって発せられた青色光の一部を広い黄色放射光に変換し、これは青色放射光と混ざり合っ白色光を生成する。

【0013】本発明及びその変形例のその他の特徴及び利点については、以下の説明、図面、及び特許請求の範囲の記載から明らかとなろう。

【0014】

【発明の実施の形態】図1は、発光ダイオード(LED)1の斜視図であり、これは、本発明に基づいて一又は二以上の燐光薄膜(phosphor thin film)を内部に包含するのに適したものである。しかしながら、本発明のLEDは、いずれの具体的なLEDにも限定されない点には留意すべきである。既知の種々のLEDを本発明と併せて使用できることは、当業者に理解されるだろう。

【0015】LED1の代表的な部品を説明する目的で、燐光薄膜を配置しない状態のLED1を示してあ

る。LED1は、たとえば発光構造体2を有しており、これは二つのn-GaN層3、4、SQW或いはMQWのGaInN層5、p-AlGaInN層6、p-GaN層7を含んで構成されている。発光構造体2は、また、電極接合パッド8、n-電極3、p-電極接合パッド11、p-電極12を含んでいる。後に詳しく述べるように、n-電極3はGaNからなり、p-電極12は光を透過するか或いは光を反射するかのいずれかである。電極接合パッド8及び11は、これらが電源(不図示)に接続されると、バイアス電流を供給してLED1を発光させる。

【0016】発光構造体2は基板13の上に配置される。基板13はサファイアであることが望ましいが、これ以外の材料を基板13として使用することも可能である。発光ダイオード1を製造するための材料が、上で図1を参照して述べた材料に限定されるものではない点には留意されたい。発光ダイオード1が種々の材料から製造され得ることは、当業者に理解されるだろう。上で述べたように、発光ダイオード1はどのような種類の発光ダイオードにも限定されず、ただ、使用される発光ダイオードが、後により詳しく説明するように、本発明に基づいて青色光或いは紫外光からなる一次光を発するものであればよい。このような目的に適合する種々の発光ダイオードが周知であることは、当業者に理解されるだろう。

【0017】青色或いはUVの一次放射を行う発光構造体2は、サファイア(すなわちAl₂O₃)或いはシリコンカーバイド(すなわちSiC)の上にエピタキシャル成長により形成される。これら二つの基板材料は一次放射光に対して透過的であるため、LED1はヘッダー(不図示)上に、或いは反射器カップ(不図示)内に、通常の配置で、或いはフリップチップによって取り付けることができる。これらは当業者には周知のものである。後に詳しく論ずるように、いくつかの場合には基板材料は透明であり、また、その他の場合には不透明である。このような目的に適合する多くの材料が存在することは、当業者に理解されるだろう。

【0018】図2は、本発明の第一実施例に係るLEDデバイスの側面図である。LEDデバイス20は、図1に示したように、基板13及びLED構造体2を含んでいる。この実施例では、発光構造体2の基板13と接触する面とは反対側の面の上に、単一の燐光薄膜21が配置されいる。燐光薄膜21は、周知の種々の方法で、発光構造体2の上に重ねることができる。燐光薄膜は、薄膜エレクトロルミネセンスディスプレイ分野で主として使われている。燐光薄膜を堆積させる技術としては、たとえば電子ビーム蒸着、熱蒸着、rfスパッタリング、化学気相成長、原子層エピタキシーなどの周知の技術を用いることができる。

【0019】どのような方法で薄膜を堆積させるべきか

は、その薄膜に期待する特性による。たとえば、薄膜がLEDから発せられる一次放射光のすべてを吸収するようにしたければある特別の堆積技術が使われ、透過する一次放射光のパーセンテージが高くてもよい場合には別の技術が使われる。所望の特性を有する薄膜を得るためにどのような技術を使うべきであるかは、当業者に理解されるだろう。

【0020】図2に示してある薄膜21を堆積させる方法は、rfスパッタリングであることが望ましい。この方法では、燐光膜内で燐光パウダーが均一な分布となるように、LEDウェハの直径を僅かに超える直径のターゲット内に燐光パウダーが圧入される。当業者であれば理解できるように、スパッタガスの特性は変化しうるが、スパッタガスは、主としてアルゴンと、約1%から約3%までの酸素を含んでいることが望ましい。圧力及び投入されるRF電力は、薄膜21が最適な厚さと均一さを有するように調整される。ターゲットと基板の間の距離は、約5~10cm程度とするのが望ましい。望ましい燐光パウダーは、セリウムをドープしたイットリウム-アルミニウム-ガーネット($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$)である。これはYAG:Ceとも表される。本発明で使用される燐光薄膜は特定種類のものに限定されないことは、当業者に理解されるだろう。このような目的に適合する別の種類の燐光薄膜が存在しうることも、当業者に理解されるだろう。

【0021】燐光薄膜は、発光構造体2が基板13上に成長したあとに堆積させるのが望ましい。しかしながら、堆積条件が発光構造体2の完全性を維持するための要件と両立しない場合があるという事実のために、常にこの方法が可能なのではない。したがって、場合によっては、発光構造体を成長させる前に薄膜を堆積させる必要がある。

【0022】薄膜の組成及び厚さの均一性は、LEDウェハをたとえば偏心した円のような特別の軌道、或いはより複雑な軌道に沿って回転させることによって、さらに改善することができる。これらの軌道は、「惑星運動」と呼ばれることもある。材料の均一性を改善するためにこのようなウェハを回転させる技術は、従来から知られている。所望の均一性を有する燐光薄膜を形成し堆積させることができる方法は周知のものであるため、このような方法を実行するための議論についてはこれ以上ここでは触れない。

【0023】発光構造体2は、動作時に青色の一次放射光を発する。一次放射光は薄膜21に当たる。一次放射光の一部は、薄膜21内のドーパントを励起することなく薄膜21を通過する。一次放射光のうち薄膜21に当たる部分は、薄膜内に含まれるドーパントによって吸収され、黄色光に変換される。この黄色光は薄膜21から放射され、変換されていない一次放射光と混ざり合って白色光になる。ドーパントは原子スケールで燐光薄膜2

1内に含まれている。これらのドーパントが一次放射光によって励起されると、ドーパントは黄色光を発する。

【0024】薄膜内のドーパントの総量は、その密度と薄膜の厚さによって決まる。薄膜内におけるドーパントの空間分布は、非常に高い精度で制御できる。この目的に用いられる技術は、この分野で用いられる薄膜堆積処理と共通するものであり、当業者にとっては周知のものである。薄膜内における発光ドーパントの総量及びドーパントの空間分布を精密に制御できる方法は、当業者にとっては周知である。薄膜のこのような特性を精密に制御することによって、変換されずに薄膜を通過する一次放射光の割合を予測することが可能であり、また制御することも可能である。したがって、発光ダイオードデバイス20によって生成される白色光の特性を確実なものとすることができる。このため、製造上の不確定さが排除され、高品質で安定したLEDデバイスを得ることができる。

【0025】一次光が、二以上の波長を有する場合もある点には留意すべきである。同様に、一次光の励起にตอบสนองして発せられる光も、二以上の波長からなる光の場合がある。たとえば、薄膜21によって発せられる青色光は、スペクトルバンドを構成する複数の波長に対応する。このスペクトルバンドの波長は、変換されていない一次光と混ざり合って白色光を生成する。したがって、ここでは本発明の概念を説明する目的で個々の波長を説明したが、ここで論じている励起は、放射される複数の波長あるいはスペクトルバンドに帰着することが理解されるであろう。スペクトルバンドの波長は、混ざり合って白色光を生成する。したがって、「スペクトルバンド」という用語は、少なくとも一つの波長からなるバンド及び潜在的に多くの波長からなるバンドを意味することを意図したものであり、「波長」という用語は、スペクトルバンドのピーク強度の波長を意味することを意図したものである。

【0026】図3は、本発明の第三実施例に係る発光ダイオードデバイス30の側面図である。この実施例では、発光構造体2の表面上に反射電極接合パッド25が配置されており、基板13のうち発光構造体2と接する側とは反対の側の表面上に、燐光薄膜21が配置されている。上で述べたように、基板材料は透明なものが望ましい。したがって、発光構造体2から放射され、反射電極接合パッド25に当たった一次放射光は、反射されて発光構造体2及び基板13を通り、燐光薄膜21へと入る。一次放射光が燐光薄膜21に当たった場合の効果は、図2のLEDデバイス20の動作についてに上で述べたものと同じである。図3に示した燐光薄膜は、図2に示した燐光薄膜と同じものでもよく、また上で議論したrfスパッタリング技術を用いて形成したものであってもよい。

【0027】本実施例では燐光薄膜21を基板13上に

直接堆積させるので、燐光薄膜21の堆積は、発光構造体2の形成の前でも後でもよく、また、反射電極接合パッド25の形成の前でも後でもよい。

【0028】図4は、本発明の他の実施例の発光ダイオードデバイス40の側面図であり、ここでLEDデバイス40は少なくとも二つの燐光薄膜31及び33を含んでいる。薄膜31及び33は、基板13のうち発光構造体2が堆積される側とは反対の側の面上に堆積される。この実施例では、燐光薄膜31及び33を、望ましくは原子層エピタキシー技術を用いて堆積する。基板13上に堆積される薄膜31は、薄膜31内に含まれる発光ドーパントに当たる青色又は紫外の一次光に反応して赤色放射光を生成するものとするのが望ましい。基板13上に堆積される薄膜33は、薄膜33内に含まれる発光ドーパントに当たる青色又は紫外一次光に反応して緑色光を生成する。

【0029】薄膜31によって放射される赤色光は、薄膜33によっては吸収されない。しかしながら、薄膜33によって放射される緑色光は薄膜31によって部分的に吸収され、赤色光に変換される。いずれの薄膜層も、発光構造体2から発せられる一次放射の青色光の一部を通過させる。この変換されなかった一次青色光は、薄膜31及び33からそれぞれ発せられる赤色光及び緑色光と混ざり合っ、白色光を生成する。

【0030】緑色光を発する薄膜33は望ましくはSrS:Ceから構成され、赤色光を発する薄膜31は望ましくはSrS:Euから構成される。しかしながら、これらの薄膜に用いられる材料に関して、或いはこれらの薄膜を堆積させる方法に関して本発明が限定されるものでないことは、当業者に理解されるだろう。反射電極接合パッド25は、発光構造体2から発せられる一次光を薄膜31及び33の方向へ反射して、LEDデバイス40の効率を改善する。

【0031】別の方法としては、薄膜31が一次放射光をすべて吸収して一次放射光を青色光に変換し、薄膜33が青色光のいくらかを通過させるとともに青色光のいくらかを黄色光に変換する。そして、図2及び図3との関連で説明したのと同じ方法で黄色光と変換されなかった青色光が混ざり合っ白色光を生成する、という方法を採用することもできる。

【0032】図5は、本発明の他の実施例の発光ダイオードデバイス50の側面図である。この実施例も、複数の燐光薄膜37及び38を用いる。しかしながらこの実施例では、薄膜37と基板13との間に誘電体ミラー36が設けられている。誘電体ミラー36は、発光構造体2からの一次放射光は完全に透過するが、燐光薄膜37及び38からの放射光の波長については、高い割合で反射する。燐光薄膜37及び38は、図4に示した燐光薄膜31及び33と同じものであってよい。したがって、燐光薄膜37及び38は、それぞれ赤色光及び緑色光を

発するか、あるいは、それぞれ青色光及び黄色光を発する。薄膜37及び38の堆積には、図4との関連で議論した方法で、原子層エピタキシー技術を用いて堆積させることができる。

【0033】LEDデバイス50に誘電体ミラー36を設け、発光構造体2を燐光薄膜37及び38によって生成されるルミネセンス光から分離することによって、LEDデバイス50の全体的な効率が向上する。このようにしないとすると、燐光薄膜37及び38によって生成されるルミネセンス光は、発光構造体2によって再び吸収されてしまう。図5の薄膜37及び38は、図4に示した薄膜31及び33が白色光を生成するのと本質的に同じ作用で白色光を生成する。薄膜37及び38のそれぞれから発せられる赤色光と緑色光は、発光構造体2から放射されて変換されなかった一次放射光と混ざり合っ、白色光を生成する。

【0034】望ましくは、燐光薄膜37は誘電体ミラー36の上に堆積させ、燐光薄膜38は燐光薄膜37の上に堆積させる。本発明は、LEDデバイス50の各層を形成する順番については限定されないという点は留意すべきである。たとえば、燐光薄膜を誘電体ミラー36を基板上に形成した後であって、発光構造体2及び反射電極25が形成される前に堆積させることもできる。あるいはまた、誘電体ミラー36、発光構造体2、反射電極25を含む他の全ての層が形成された後に、燐光薄膜37及び38を堆積させることもできる。

【0035】ここまで本発明の特定の実施例について説明してきたが、本発明がこれらの実施例に限定されるものでないことは、当業者に理解されるだろう。また、上で述べた実施例に対しては種々の変形を施すことができ、それらも本発明の範囲に属することは当業者に理解されるだろう。上述のように、LEDデバイスが青色光又は紫外光の一次放射が可能なものではないという点以外は、LEDデバイスに使用する材料に関して本発明は限定されるものではない。また、ここで明示的に述べたものを除き、LEDデバイスの層もしくは部品を形成する順序に関して本発明は限定されるものでないことは、当業者に理解されるだろう。さらに、燐光薄膜の幾何学的配置或いは構成についても、特定の配置に限定されないことが当業者に理解されるだろう。

【0036】たとえば、図4及び図5に関連して説明したような全体を覆う燐光薄膜を用いるのではなく、青色又は紫外の一次放射光に反応して異なる色の光を発する複数の燐光薄膜セグメントを、共通の面上に堆積させることもできる。たとえば、図5に示す誘電体ミラー36上に、三種類の異なる燐光薄膜セグメント（不図示）をチェッカー盤のような配置で堆積させることができる。この場合、一つの薄膜セグメントは赤色光を発し、一つの薄膜セグメントは緑色光を発し、そして残りの一つは、一次光がUV光か青色光かによって、青色光を発す

るか又は透過するものとする。これらのセグメントは、発光構造体2からの一放射光の全体を吸収するように配置される。各燐光薄膜によって生成される赤色、緑色、青色の各光は、混ざり合って白色光となる。他の種々の薄膜層及びセグメントをどのようにLEDデバイスに組み込んで白色光を発するLEDデバイスを製造するかについて、当業者ならば理解しているだろう。

【0037】さらに、本発明のLEDデバイスによって発せられるのが白色光である必要はない点には留意する必要がある。他の色の光を発するLEDデバイスを得るために本発明の原理に基づいて燐光薄膜を製造し利用する方法は、当業者に理解されるだろう。たとえば当業者は、本明細書の説明を考慮すれば、青色又はUVの一次放射光を全体的に吸収して緑色光を生成する燐光薄膜をどのようにして得るかを理解するであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の発光ダイオードの、燐光薄膜が配置される前の状態の斜視図である。

【図2】本発明の第一実施例の発光ダイオードの側面図

である。

【図3】本発明の第二実施例の発光ダイオードの側面図である。

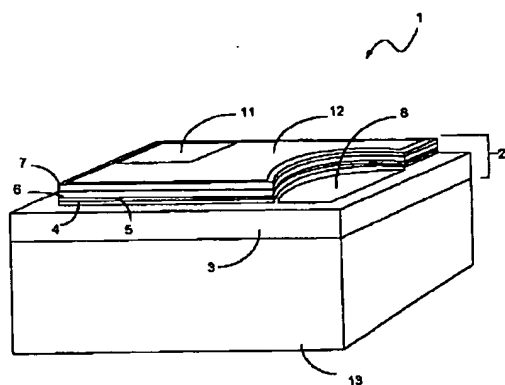
【図4】本発明の第三実施例の発光ダイオードの側面図である。

【図5】本発明の第四実施例の発光ダイオードの側面図である。

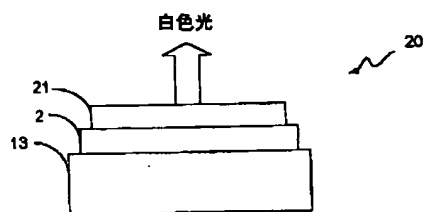
【符号の説明】

- 1 発光ダイオード(LED)
- 2 発光構造体
- 13 基板
- 21 燐光薄膜
- 25 反射電極接合パッド
- 31 燐光薄膜
- 33 燐光薄膜
- 36 誘電体ミラー
- 37 燐光薄膜
- 38 燐光薄膜

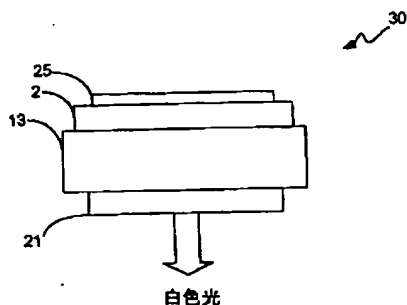
【図1】



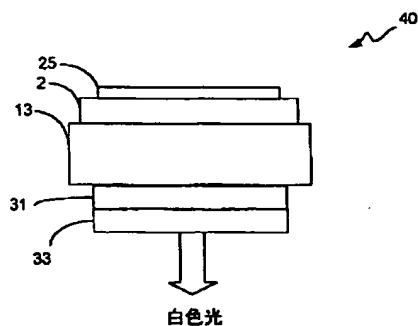
【図2】



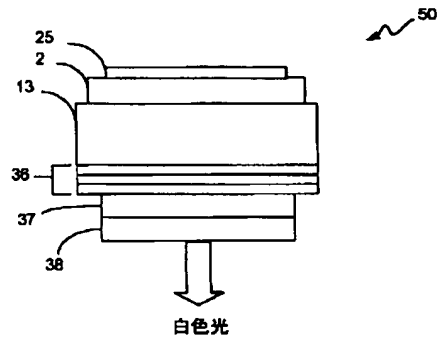
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 ゲルト オー ミューラー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95132 サン ホセ スウェイガート ロ
ード 3491

A THIN FILM PHOSPHOR-CONVERTED LIGHT EMITTING DIODE DEVICE

TECHNICAL FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates to light emitting diodes (LEDs) and, more particularly, to a phosphor-converted LED device that utilizes one or more phosphor thin films for converting primary light emitted by the LED into one or more other frequencies of light in order to generate white light.

BACKGROUND OF THE INVENTION

With the development of efficient LEDs that emit blue or ultraviolet (UV) light, it has become feasible to produce LEDs that generate white light through phosphor conversion of a portion of the primary emission of the LED to longer wavelengths. Conversion of primary emission of the LED to longer wavelengths is commonly referred to as down-conversion of the primary emission. An unconverted portion of the primary emission combines with the light of longer wavelength to produce white light. LEDs that produce white light are useful for signaling and/or illumination purposes.

Currently, state-of-the-art phosphor conversion of a portion of the primary emission of the LED is attained by placing a phosphor in an epoxy that is used to fill the reflector cup, which houses the LED within the LED lamp. The phosphor is in the form of a powder that is mixed into the epoxy prior to curing the epoxy. The uncured epoxy slurry containing the phosphor powder is then deposited onto the LED and is subsequently cured.

The phosphor particles within the cured epoxy generally are randomly oriented and interspersed throughout the epoxy. A portion of the primary light emitted by the LED passes through the epoxy without impinging on the phosphor particles, whereas a portion of the primary light emitted by the LED impinges on the phosphor particles, thereby causing the phosphor particles to emit complimentary light. The combination of the primary blue light and the phosphor-emitted light produces white light. One disadvantage of utilizing the epoxy comprising the phosphor particles is that uniformity in the white light emitted by the LED is difficult, if not impossible, to obtain. This non-uniformity is caused by non-uniformity in the

sizes of the phosphor particles mixed into the epoxy slurry. Currently, phosphor powders having uniform phosphor particle sizes generally are not available. When the phosphor powder is mixed into the epoxy slurry, the larger phosphor particles sink faster than the smaller phosphor particles. This non-uniformity in spatial distribution of the phosphor particles exists in the epoxy once it has been cured.

Therefore, obtaining a uniform distribution of the phosphor particles within the epoxy is very difficult, if not impossible, due to the non-uniformity of the sizes of the phosphor particles. This inability to control the sizes of the phosphor particles and their locations within the epoxy results in difficulties in producing LED lamps that emit white light in a consistent manner. Therefore, the quality of the white light produced by LED lamps may vary from one lamp to another, even for a given model manufactured by a particular manufacturer.

Attempts have been made to overcome the disadvantages of using phosphor powders mixed with epoxies by placing luminescent organic dye films on a lens that encases the LED. The dye is carefully positioned on the lens at a particular location so that it totally absorbs all of the primary light impinging thereon and converts the primary light to light of a longer wavelength. A fraction of the primary light emitted passes through the lens without impinging on the dye. The primary light that does not impinge on the dye then combines with the longer-wavelength light to produce white light. Since the dye totally absorbs the primary light impinging thereon, any variation in the fraction of the primary light that is summed with the longer-wavelength light is supposed to be eliminated.

However, this latter approach also has several disadvantages. The placement of the dye on the lens is subject to manufacturing uncertainties, which may result in variations in the white light produced. Also, dyes that are stable over long periods of time generally are not available. As a result, wide spread use of wavelength-converting dyes has not occurred.

Accordingly, a need exists for a phosphor-converted LED that overcomes these problems and disadvantages.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention provides a phosphor-converted LED device comprising one or more phosphor thin films that convert primary light emitted by the LED into

one or more other wavelengths of light to produce light of a particular color. The phosphor thin film of the invention comprises dopants that are spatially distributed in an optically homogeneous manner. This optically-homogeneous spatial distribution of the dopants in the thin film causes the phosphor conversion of the primary light to occur in a manner that is predictable and controllable. Therefore, variations in the color of the light produced by phosphor-converted LED devices can be eliminated, thereby enabling consistency in the quality of the colored light produced by LED devices to be achieved. Preferably, the light of the particular color that is produced by the LED device is white light. However, the phosphor-converted LED device of the present invention may be designed to perform phosphor conversion to produce light of other colors, such as green light.

In accordance with one embodiment of the present invention, a single phosphor thin film is comprised by the LED device. The thin film converts a portion of the blue primary light into yellow light while allowing a portion of the primary light to pass through the thin film. The primary light and the yellow light combine to produce white light.

In accordance with an alternative embodiment of the present invention, at least two phosphor thin films, each of which emits a different color of light, are comprised in the LED device. In accordance with this embodiment, the thin films preferably are disposed one on top of the other. Each of the thin films converts a portion of the primary light into a particular color of light. For example, one of the thin films may convert primary light into green light and one of the films may convert primary light into red light. The red light, green light and the unconverted primary light combine to form white light.

In accordance with another embodiment of the present invention, at least two phosphor thin films are utilized and one of the thin films completely absorbs the primary light and converts it into blue light. The other thin film then converts a portion of the blue light emitted by the first thin film into a broad yellow emission, which then combines with the blue emission to produce white light.

Other features and advantages of the present invention and variations thereof will become apparent from the following description, drawings and claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE INVENTION

FIG. 1 is a perspective view of the light emitting diode device of the present invention before a phosphor thin film has been deposited thereon.

FIG. 2 is a side view of the light emitting diode device of the present invention in accordance with a first embodiment.

FIG. 3 is a side view of the light emitting diode device of the present invention in accordance with a second embodiment.

FIG. 4 is a side view of the light emitting diode device of the present invention in accordance with a third embodiment.

FIG. 5 is a side view of the light emitting diode device of the present invention in accordance with a fourth embodiment.

DETAILED DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a perspective view of a light emitting diode (LED) 1 that is suitable for incorporating one or more phosphor thin films therein in accordance with the present invention. However, it should be noted that the LED of the present invention is not limited to any particular LED. Those skilled in the art will understand that a variety of known LEDs are suitable for use with the present invention.

For purposes of describing the typical components of the LED 1, the LED 1 has been shown without any phosphor thin films disposed thereon. The LED 1 may comprise, for example, a light emitting structure 2, which comprises two n-GaN layers 3 and 4, an SQW or MQW GaInN layer 5, a p-AlGaIn layer 6 and a p-GaN layer 7. The light emitting structure 2 also comprises an n-electrode bond pad 8, an n-electrode 3, a p-electrode bond pad 11 and a p-electrode 12. The n-electrode 3 is comprised of GaN and the p-electrode 12 is either transmissive or reflective, as discussed below in more detail. The electrode bond pads 8 and 11, when connected to a power supply (not shown), provide the biasing current for causing the LED 1 to emit light.

The light emitting structure 2 is disposed on a substrate 13, which preferably is sapphire, although other materials may be used for the substrate 13. It should be noted that the materials used for creating the light emitting diode 1 are not limited to the materials discussed above with reference to FIG. 1. Those skilled in the art will understand that the light emitting diode 1 can be comprised of various types of

materials. As stated above, the light emitting diode 1 is not limited to any particular type of light emitting diode, with the exception that the light emitting diode device utilized in accordance with the present invention emits a primary light that is either blue or ultraviolet, as discussed below in detail. Those skilled in the art will understand that various light emitting diodes are known that are suitable for this purpose.

The light emitting structure 2 that generates the blue or UV primary emission preferably is grown epitaxially on either a sapphire (*i.e.*, Al_2O_3) or silicon carbide (*i.e.*, SiC) substrate. Since both of these substrate materials are transparent to the primary radiation emission, the LED 1 can be mounted on a header (not shown) or in a reflector cup (not shown) in either a "normal" mounting configuration or a "flip-chip" mounting configuration, which are known to those skilled in the art. As discussed below in detail, in some cases the substrate material may be transmissive, whereas in other cases it may be opaque. Those skilled in the art will understand that many substrate materials are suitable for these purposes.

FIG. 2 is a side view of the LED device of the present invention in accordance with a first embodiment. The LED device 20 comprises a substrate 13 and an LED structure 2, as shown in FIG. 1. In accordance with this embodiment of the present invention, a single phosphor thin film 21 is disposed on the surface of the light emitting structure 2 opposite the surface of the light emitting structure 2 that is in contact with the substrate 13. The phosphor thin film 21 may be deposited on the light emitting structure 2 by a plurality of known methods. Phosphor thin films have been used primarily in the thin film electroluminescent display industry. Several known techniques may be used for depositing the phosphor thin film such as, for example, electron beam evaporation, thermal evaporation, rf-sputtering, chemical vapor deposition and atomic layer epitaxy.

The method that is utilized for depositing the thin film may depend on the desired characteristics of the thin film. For example, if the thin film is to absorb all of the primary radiation emitted by the LED, one particular deposition technique may be used, whereas if the thin film is to allow a percentage of the primary radiation to pass through it, a different technique may be used. Those skilled in the art will understand which type of technique is to be utilized in order to obtain a thin film having the desired characteristics.

Preferably, the method for depositing the thin film 21 shown in FIG. 2 is rf-sputtering. In accordance with this method, the phosphor powder is pressed into a target of a diameter slightly exceeding the LED wafer diameter such that a homogenous distribution of the phosphor film is ensured. As will be understood by those skilled in the art, the sputter gas characteristics can vary, but preferably the sputter gas mainly comprises Argon, but also comprises approximately 1% to approximately 3% of oxygen. The pressure and RF power input are matched to provide the thin film 21 with optimum thickness and homogeneity. The distance between the target and the substrate preferably is approximately 5 to 10 centimeters. The phosphor powder preferably is a Cerium-doped Yttrium-Aluminum-Garnet ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$), also denoted as YAG:Ce. Those skilled in the art will understand that the present invention is not limited to using any particular type of phosphor for the thin film. Those skilled in the art will understand that other types of phosphors exist that are suitable for this purpose.

Preferably, the phosphor thin film is deposited after the light emitting structure 2 has been grown on the substrate 13. However, this may not always be possible, due to the fact that the deposition conditions might be incompatible with the requirements for maintaining the integrity of the light emitting structure 2. Therefore, in some cases, it may be necessary to deposit the thin film before the light emitting structure is grown.

The homogeneity of the composition and the thickness of the thin film can be further improved by rotating the LED wafer on a particular trajectory, such as eccentric circles, or on more complicated trajectories, which are sometimes referred to as "planetary motion". This technique of rotating the wafer to improve the homogeneity of a material is known in the art. Since the manner in which phosphor thin films having a desired homogeneity can be created and deposited is known, no further discussion of the manner in which this is accomplished will be provided herein.

During operation, the light emitting structure 2 generates primary blue radiation. The primary emission impinges on the thin film 21. A portion of the primary emission passes through the thin film 21 without exciting the dopants in the thin film. A portion of the primary emission impinging on the thin film 21 is absorbed by the dopants contained in the thin film and is converted into yellow light.

This yellow light is emitted from the thin film 21 and combines with the portion of the unconverted primary radiation to form white light. The dopants are incorporated on an atomic scale into the phosphor thin film 21. When these dopants are excited by primary radiation, the dopants emit yellow light.

The total amount of dopants in the thin film is determined by their concentration and by the thickness of the thin film. The spatial distribution of the dopants in the thin film can be controlled with great precision. The techniques used for this purpose are common to thin film deposition processes used in the industry and are known to those skilled in the art. Those skilled in the art will understand the manner in which the amount of light-emitting dopants in the thin film and the spatial distribution of the dopants can be precisely controlled. By precisely controlling these characteristics of the thin film, the fraction of the primary radiation that will pass through the thin film without conversion is predictable and can be controlled. Therefore, the characteristics of the white light produced by the light emitting diode device 20 can be ensured. Thus, manufacturing uncertainties can be eliminated and LED devices having high quality and consistency can be obtained.

It should be noted that the primary light may comprise light having more than one wavelength. Similarly, the light emitted in response to excitation by the primary light may comprise light of more than one wavelength. For example, the blue light emitted by thin film 21 may correspond to a plurality of wavelengths making up a spectral band. Wavelengths this spectral band may then combine with the unconverted primary light to produce white light. Therefore, although individual wavelengths are discussed herein for purposes of explaining the concepts of the present invention, it will be understood that the excitation being discussed herein may result in a plurality of wavelengths, or a spectral band, being emitted. Wavelengths of the spectral bands may then combine to produce white light. Therefore, the term "spectral band" is intended to denote a band of at least one wavelength and of potentially many wavelengths, and the term "wavelength" is intended to denote the wavelength of the peak intensity of a spectral band.

FIG. 3 is a side view of the light emitting diode device 30 of the present invention in accordance with an alternative embodiment. In accordance with this embodiment, a reflective electrode bond pad 25 is disposed on a surface of the light emitting structure 2 and the phosphor thin film 21 is disposed on a surface of the

substrate 13 opposite the surface of the substrate 13 that is in contact with the light emitting structure 2. As stated above, the preferred substrate material is transparent. Therefore, the primary radiation emitted from the light emitting structure 2 that impinges on the reflective electrode bond pad 25 is reflected through the light emitting structure 2 and through the substrate 13 into the phosphor thin film 21. Once the primary radiation impinges on the phosphor thin film 21, the results are essentially identical to those discussed above with reference to the operations of the LED device 20 of FIG. 2. The phosphor thin film shown in FIG. 3 may be identical to the phosphor thin film shown in FIG. 2 and may also be created using the above-discussed rf-sputtering technique.

Since, in accordance with this embodiment, the phosphor thin film 21 is deposited directly onto the substrate 13, the phosphor thin film 21 may be deposited either before or after the light emitting structure 2 has been created and either before or after the reflective electrode bond pad 25 has been created.

FIG. 4 is a side view of the light emitting diode device 40 of the present invention in accordance with an alternative embodiment in which the LED device 40 comprises at least two phosphor thin films 31 and 33. The thin films 31 and 33 are deposited on the side of the substrate 13 opposite the side of the substrate 13 on which the light emitting structure 2 is to be disposed. In accordance with this embodiment, the phosphor thin films 31 and 33 preferably are deposited using atomic layer epitaxy. Preferably the thin film 31 disposed on the substrate 13 produces red emissions in response to the blue or ultraviolet primary emissions impinging on the light-emitting dopants contained in the thin film 31. The phosphor thin film 33 disposed on phosphor thin film 31 emits green light in response to the blue or ultraviolet primary emissions impinging on the dopants contained in the thin film 33.

The red light emitted by thin film 31 is not absorbed by thin film 33. However, the green light emitted by thin film 33 is partly absorbed by thin film 31, and is converted into red light. Both of the thin film layers allow a portion of the primary blue light emitted by the light emitting structure 2 to pass through the thin films. This unconverted primary blue light combines with the red and green light emitted by thin film layers 31 and 33, respectively, to produce white light.

The thin film 33 that emits green light preferably is comprised of SrS:Ce and the thin film 31 that emits red light preferably is comprised of SrS:Eu. However,

those skilled in the art will understand that the present invention is not limited with respect to the materials utilized for these thin films or with respect to the manner in which these thin films are deposited. The reflective electrode bond pad 25 reflects primary light generated by the light emitting structure 2 toward the thin films 31 and 33 and improves the efficiency of the LED device 40.

Alternatively, a thin film 31 totally absorbs all of the primary light and converts the primary light into blue light. Thin film 33 passes some of the blue light and converts some of the blue light into yellow light. The yellow light and the unconverted blue light combine to form white light, in the same manner described above with reference to FIGS. 2 and 3.

FIG. 5 is a side view of the light emitting diode device 50 of the present invention in accordance with another embodiment. This embodiment of the present invention also utilizes a plurality of phosphor thin films 37 and 38. However, in accordance with this embodiment, a dielectric mirror 36 is disposed between thin film 37 and the substrate 13. The dielectric mirror 36 is fully transparent to the primary emission of the light emitting structure 2 but is highly reflective at the wavelength of the emissions of the phosphor thin films 37 and 38. The phosphor thin films 37 and 38 may be identical to the phosphor thin films 31 and 33 shown in FIG. 4. Thus, the phosphor thin films 37 and 38 may produce red and green light, respectively, or blue and yellow light, respectively. Preferably, atomic layer epitaxy is used to deposit the thin films 37 and 38 in the manner discussed above with reference to FIG. 4.

Incorporating the dielectric mirror 36 into the LED device 50 increases the overall efficiency of the LED device 50 by isolating the light emitting structure 2 from luminescence light produced by the phosphor thin films 37 and 38, which might otherwise be re-absorbed by the light emitting structure 2. The thin films 37 and 38 of FIG. 5 operate in a manner that is essentially identical to the manner in which the thin films 31 and 33 of FIG. 4 operate to produce white light. The red and green light emitted by thin films 37 and 38, respectively, combines with the unconverted primary light emitted by the light emitting structure 2 to produce white light.

The phosphor thin film 37 preferably is deposited onto the dielectric mirror 36 and then the phosphor thin film 38 is deposited onto the phosphor thin film 37. It should be noted that the present invention is not limited with respect to the order in which the layers of the LED device 50 are incorporated into the LED device 50. For

example, the phosphor thin films can be deposited after the dielectric mirror 36 has been fabricated on the substrate, but before the light emitting structure 2 and the reflective electrode 25 have been fabricated. Alternatively, the phosphor thin films 37 and 38 may be deposited after all of the other layers, including the dielectric mirror 36, the light emitting structure 2 and the reflective electrode 25, have been formed.

It will be understood by those skilled in the art that the present invention has been described with reference to particular embodiments, but that the present invention is not limited to these embodiments. Those skilled in the art will understand that various modifications may be made to the embodiments discussed above, which are within the scope of the present invention. As stated above, the present invention is not limited with respect to the materials used in the LED device, except that the LED device must be capable of generating primary emissions that are blue light or ultraviolet light. Those skilled in the art will also understand that, unless expressly stated herein, the present invention is not limited with respect to the order in which the layers or components of the LED device are formed. It will also be understood by those skilled in the art that the geometric arrangement or configuration of the phosphor thin films is not limited to any particular arrangement.

For example, rather than using overlapping phosphor thin films in the manner described above with reference to FIGS. 4 and 5, a plurality of phosphor thin film segments, each of which luminesces a different color of light in response to blue or ultraviolet primary radiation impinging thereon, may be deposited on a common surface. For example, three different phosphor thin films segments (not shown) could be deposited in a checker-board configuration on the dielectric mirror 36 shown in FIG. 5. In this case, one of the thin film segments would luminesce red light, one would luminesce green light and one would luminesce or transmit blue light, depending on whether the primary light is UV or blue. The segments would be arranged to effect total absorption of the primary radiation emitted from the light emitting structure 2. The red, green and blue light generated by the respective phosphor thin films would then combine to create white light. Those skilled in the art will understand how various other configurations of thin film layers and segments could be incorporated into an LED device to produce an LED device that generates white light.

Furthermore, it should be noted that it is not required that white light be produced by the LED device of the present invention. Those skilled in the art will understand the manner in which a phosphor thin film can be produced and utilized in accordance with the principles of the present invention to obtain an LED device that produces other colors of light. For example, those skilled in the art will understand, in view of the description provided herein, how a phosphor thin film may be obtained that produces green light by totally absorbing the blue or UV primary emission.

CLAIMS

What is claimed is:

1. A light emitting diode device for generating light of a particular color, the light emitting diode device comprising:
 - a substrate including a first surface and a second surface, the first surface being opposite the second surface;
 - a light emitting structure disposed on the first surface of the substrate, the light emitting structure having a first surface adjacent the first surface of the substrate, the light emitting structure having a second surface opposite the first surface of the light emitting structure, the light emitting structure emitting primary radiation when driven; and
 - a phosphor thin film located to receive primary radiation generated by the light emitting structure, the primary radiation impinging on the phosphor thin film, a first portion of the primary radiation passing through the phosphor thin film, and a second portion of the primary radiation converted into light of a different wavelength, the light emitted by the phosphor thin film combining with the primary radiation passing through the phosphor thin film to produce said light of the particular color.
2. The light emitting diode device of claim 1, wherein the phosphor thin film is disposed on the second surface of the light emitting structure.
3. The light emitting diode device of claim 2, wherein the primary radiation is blue light.
4. The light emitting diode device of claim 1, wherein the substrate is transparent, and wherein the phosphor thin film is disposed on a second surface of the substrate, and wherein the primary radiation emitted from the light emitting structure passes through the transparent substrate before impinging on the phosphor thin film.

5. The light emitting diode device of claim 4, wherein a reflective electrode is disposed on the second surface of the light emitting structure, wherein primary radiation that is emitted by the light emitting structure and that impinges on the reflective electrode is reflected by the reflective electrode toward the light emitting structure.
6. The light emitting diode device of claim 5, wherein the primary radiation is blue light.
7. A light emitting diode device for generating light of a particular color, the light emitting diode device comprising:
- a substrate including a first surface and a second surface, the first surface being opposite the second surface;
 - a light emitting structure disposed on the first surface of the substrate, the light emitting structure having a first surface adjacent the first surface of the substrate, the light emitting structure having a second surface opposite the first surface of the light emitting structure, the light emitting structure emitting primary radiation when driven;
 - a first phosphor thin film located to receive primary radiation generated by the light emitting structure, the primary radiation impinging on the first phosphor thin film, a first portion of the primary radiation passing through the first phosphor thin film, and a second portion of the primary radiation being converted into light of a first wavelength; and
 - a second phosphor thin film located to receive third and fourth portions of the primary radiation generated by the light emitting structure, the fourth portion of the primary radiation being converted into light of a second wavelength, wherein the first and third portions of the primary radiation remain unconverted and combine with the light of the first and second wavelengths emitted by the first and second phosphor thin films, respectively, to produce said light of the particular color.

8. The light emitting diode device of claim 7, wherein the first phosphor thin film is disposed on the second surface of the substrate, and wherein the light emitting diode device further comprises a reflective electrode, the reflective electrode being disposed on the second surface of the light emitting structure, wherein primary radiation emitted by the light emitting structure that impinges on the reflective electrode is reflected toward the light emitting structure.

9. The light emitting diode device of claim 8, wherein the primary radiation is blue light.

10. A light emitting diode device for generating light of a predetermined color, the light emitting diode device comprising:

- a substrate including a first surface and a second surface, the first surface being opposite the second surface;

- a light emitting structure disposed on the first surface of the substrate, the light emitting structure having a first surface adjacent the first surface of the substrate, the light emitting structure having a second surface opposite the first surface of the light emitting structure, the light emitting structure emitting primary radiation when driven;

- a dielectric mirror disposed on the second surface of the substrate, the dielectric mirror comprising at least first and second surfaces, the first surface of the dielectric mirror being opposite the second surface of the dielectric mirror, the first surface of the dielectric mirror being in contact with the second surface of the substrate, the dielectric mirror being transparent to the primary radiation;

- a first phosphor thin film disposed on the second surface of the dielectric mirror, the primary radiation impinging on the first phosphor thin film, a first portion of the primary radiation passing through the first phosphor thin film, and a second portion of the primary radiation being converted into light of a first wavelength, the dielectric mirror being reflective to light of the first wavelength; and

a second phosphor thin film adjacent the first phosphor thin film, a first portion of the primary radiation passing through the second phosphor thin film, and a second portion of the primary radiation being converted into light of a second wavelength, wherein the portion of the primary radiation that passes through the first and second phosphor thin films combines with the light emitted from the first phosphor thin film and the light emitted from the second phosphor thin film to produce said light of the particular color.

11. The light emitting diode device of claim 10, wherein the light emitting diode device further comprises a reflective electrode, the reflective electrode being disposed on the second surface of the light emitting structure, wherein primary radiation emitted by the light emitting structure that impinges on the reflective electrode is reflected toward the light emitting structure.

12. The light emitting diode device of claim 11, wherein the primary radiation is blue light.

13. A light emitting diode device for generating light of a particular color, the light emitting diode device comprising:

a substrate having at least a first surface and a second surface, the first surface being opposite the second surface;

a light emitting structure disposed on the first surface of the substrate, the light emitting structure having a first surface in contact with the first surface of the substrate, the light emitting structure having a second surface opposite the first surface of the light emitting structure; and

a first phosphor thin film disposed on the light emitting diode device, the light emitting structure emitting primary radiation when driven, the primary radiation impinging on the first phosphor thin film, all the primary radiation impinging on the first phosphor thin film being converted into blue light, the blue light being emitted by the first phosphor thin film; and

a second phosphor thin film disposed on the first phosphor thin film, a portion of the blue light passing through the second phosphor thin film, and wherein a portion of the blue light that impinges on the second phosphor thin film is converted into

yellow light, wherein the portion of the blue light that passes through the second phosphor thin film combines with the yellow light emitted from the second phosphor thin film to produce said light of the particular color.

14. The light emitting diode device of claim 13, wherein the first phosphor thin film is disposed on the second surface of the substrate, and wherein the light emitting diode device further comprises a reflective electrode, the reflective electrode being disposed on the second surface of the light emitting structure, wherein primary radiation emitted by the light emitting structure that impinges on the reflective electrode is reflected toward the light emitting structure.

15. The light emitting diode device of claim 14, wherein the primary radiation is ultraviolet radiation.

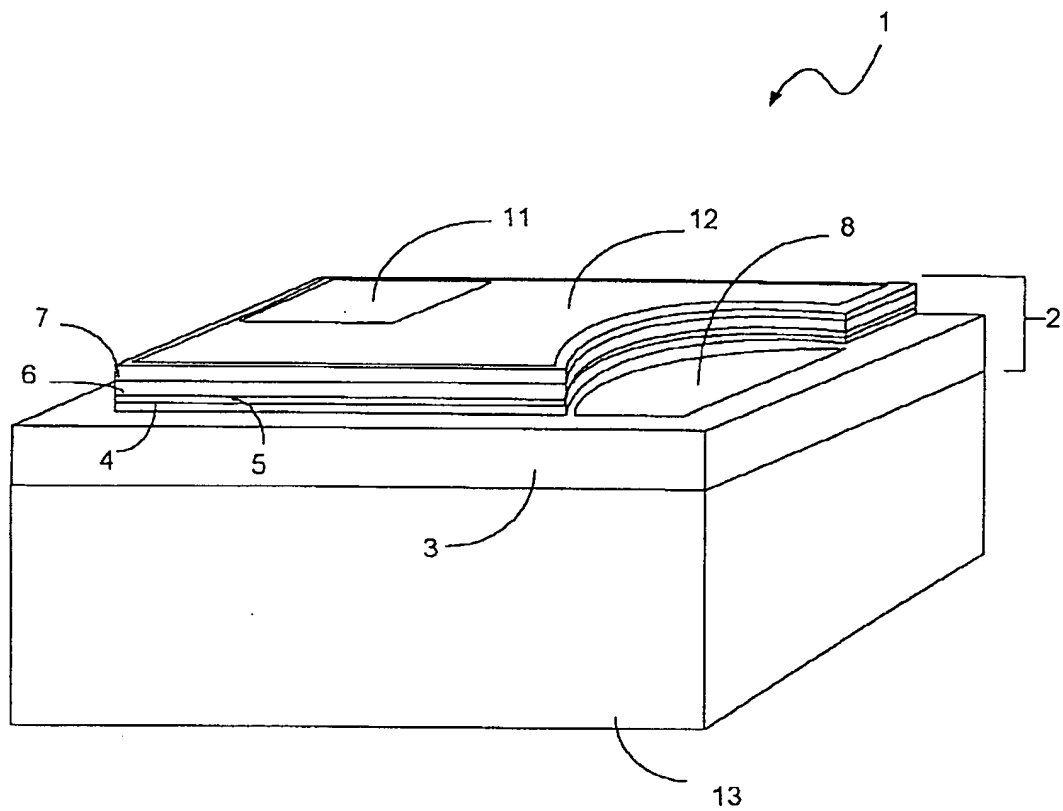


Fig. 1

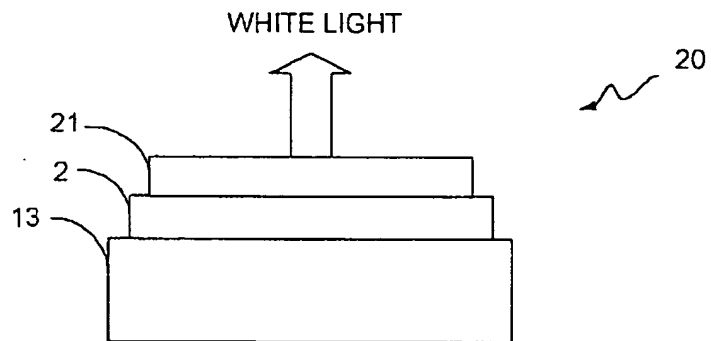


Fig. 2

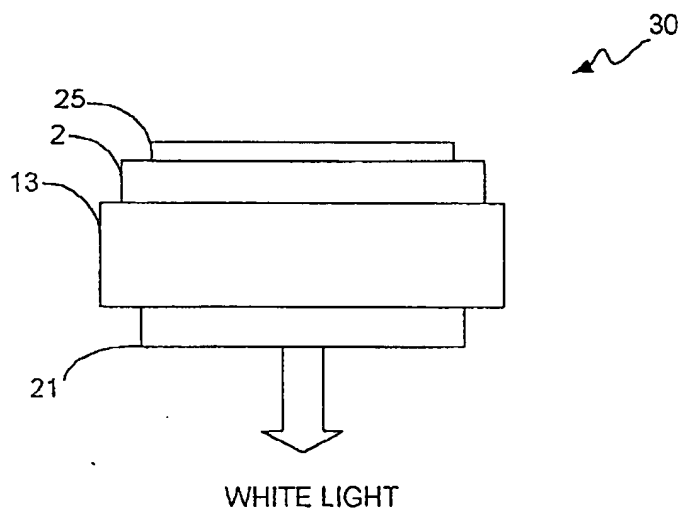


Fig. 3

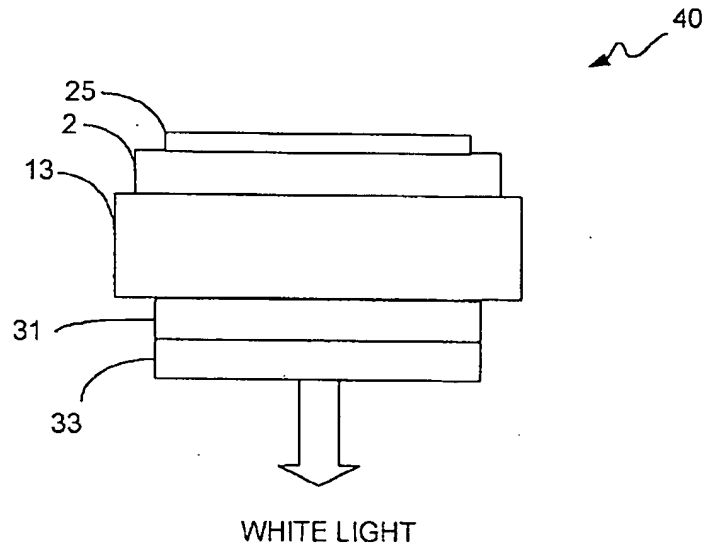


Fig. 4

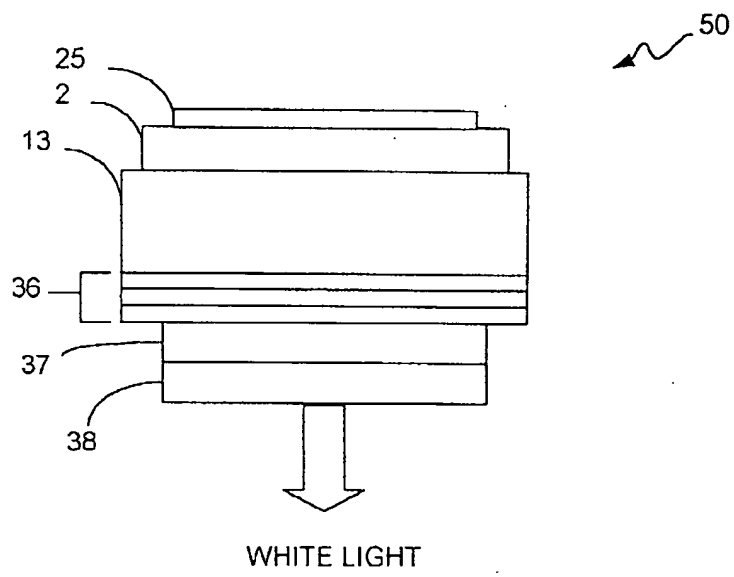


Fig. 5

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

The present invention provides a phosphor-converted LED device comprising one or more phosphor thin films that convert primary light emitted by the LED into one or more other wavelengths of light to produce light of a particular color. Each phosphor thin film comprises dopant ions that are statistically spatially distributed in such a manner that the phosphor conversion of the primary light is predictable and controlled by the concentration of the dopants and by the thickness of the thin film. Therefore, variations in the color of the light produced by phosphor-converted LED devices can be eliminated, thereby enabling uniformity in the quality of the colored light produced to be ensured. In accordance with one embodiment of the present invention, a single phosphor thin film is comprised by the LED device. The thin film converts a portion of the primary emission into yellow light while allowing a portion of the primary blue light to pass through the thin film. The primary light and the yellow light combine to produce white light. Alternatively, a plurality of phosphor thin films, each of which emits a different color of light, may be comprised in the LED device. Each of the thin films converts a portion of primary radiation into a particular color of light, e.g., red or green light. The red light, green light and the unconverted primary light combine to form white light. Alternatively, one of the thin films completely absorbs the primary radiation and converts it into blue light. This converted blue light then functions as the primary light that undergoes phosphor conversion via one or more other phosphor thin films to produce white light. One or more thin films may be used in this manner to perform phosphor conversion to produce light of colors other than white, such as green light.